Compte rendu

Physique

TRAVAUX PRATIQUES

PC/PC*

Thème : Interférences par fentes de Young

CORRIGE

Objectif : Qualitativement, il s'agit durant cette séance d'observer le phénomène d'interférences à deux ondes par division du front d'onde sur l'exemple pratique des fentes de Young.
Quantitativement, il s'agit d'exploiter la mesure de l'interfrange et de son incertitude.

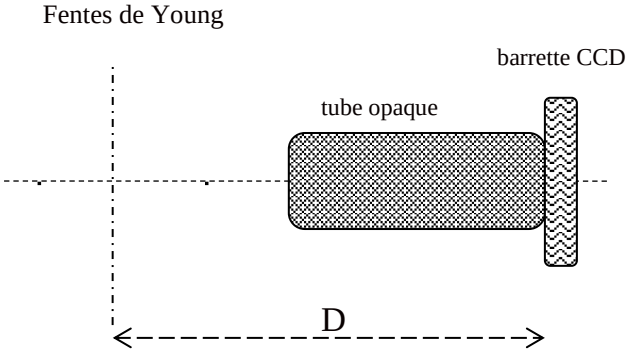
Compétences abordées :

- Mettre en œuvre un capteur optique.
- Utiliser un logiciel de régression linéaire afin d'obtenir les valeurs des paramètres du modèle.
- Analyser les résultat obtenus à l'aide d'une procédure de validation : analyse graphique intégrant les barres d'incertitudes ou analyse des écarts normalisés.
- Capacité numérique : simuler, à l'aide d'un langage de programmation ou d'un tableur, un processus aléatoire de variation des valeurs expérimentales de l'une des grandeurs (simulation Monte-Carlo) pour évaluer l'incertitude sur les paramètres du modèle.

La source lumineuse sera un laser hélium-néon. Sa puissance ne présente aucun danger pour la peau. Par contre, si le faisceau direct ou réfléchi est envoyé dans l'œil, il peut occasionner la destruction irréversible de la rétine. On veillera donc rigoureusement à respecter les consignes suivantes :

- Ne pas placer un œil sur la trajectoire du faisceau direct ou du faisceau réfléchi par un miroir, une surface métallique, une surface de verre.
- Ne pas manipuler la source laser lorsqu'elle est allumée.
- Lorsque le montage est en fonctionnement, le faisceau laser doit être horizontal et à hauteur de taille d'une personne debout. La tête ne doit pas être abaissée à la hauteur du montage.

Le montage déjà en partie réalisé comprend les éléments alignés suivants :
- laser He-Ne muni d'un objectif de microscope afin d'élargir le faisceau.
- d'un polariseur qui permet d'atténuer l'intensité du faisceau afin de ne pas saturer le photodétecteur.
- un cavalier à translation latérale muni d'un porte objet.
- un tube opaque occultant la lumière ambiante
- un détecteur constitué d'une barrette CCD (*Charge-Coupled Divice)* interfacée au logiciel CALIENS©.



Le laser, le tube opaque, et la barrette CCD ont été alignés. On veillera à ne pas modifier ce réglage.

Dans toute la suite, on étudie la figure d'interférences obtenue par des **fentes de Young** distantes de *a*.

Sur le jeton portant les fentes d'Young, on n'éclairera que la paire de fentes centrale.

1 – Mesure à D fixée

1.1 – Rappels de cours

1.1.1 - Rappeler l'expression usuelle de l'interfrange i en fonction de a, D et λ_0 longueur d'onde de la radiation émise par le laser.

$$i = \frac{\lambda_0 D}{a}$$

1.1.2 - L'approximation $D >> a$ et $D >> x$ (abscisse d'un point du champ d'interférence sur l'écran) qui conduit à cette expression vous semble-elle valide ici ?

$D \approx 0{,}1$ à 1 m ; $x \approx 1$ cm ; $a \approx 0{,}1$ mm

Donc les ordres de grandeurs expérimentaux valident les approximations amenant à cette expression de l'interfrange.

1.2 – Mesure de *D* et de son incertitude type

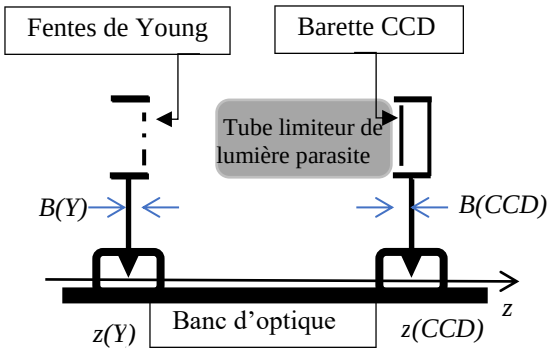
Après avoir vérifié que les franges d'interférence se forment bien sur la ligne du capteur en éloignant ce dernier de la sortie du tube opaque le temps du réglage, plaquer le capteur CCD à la sortie du tube opaque. Les mesures d'interfranges se feront à l'aide des curseurs sur l'affichage du signal du capteur que fournit le logiciel CALIENS©.

Les éléments d'optique (ici les fentes d'Young et le photodétecteur CCD ne sont pas forcément à la verticale de l'index du cavalier. Il faut alors corriger leurs abscisses z respectives par des erreurs systématiques algébriques (*biais*), notées *B(Y)* et *B(CCD)* qu'il faut estimer. Il existe alors une incertitude sur chacun de ces biais. Il faut également tenir compte d'une incertitude sur la lecture de l'abscisse pointé par l'index sur le banc gradué. Ainsi :

$$D = z(CCD) + B(CCD) - (z(Y) + B(Y))$$

1.2.1 - Après avoir relevé *z(CCD) , B(CCD), z(Y) et B(Y)* calculer la valeur de *D* distance entre les fentes de Young et le photodétecteur enchâssé dans son boîtier.

D = 50,00 cm



1.2.2 – Après avoir évalué les incertitudes sur *z(CCD) , B(CCD), z(Y) et B(Y)*, en déduire l'incertitude type sur *D* notée *u(D)* en expliquant votre méthode.

Les sources d'incertitudes sur les mesures des 2 abscisses menant à la détermination de *D* sont :

- lecture sur le banc : $U_1 = 0{,}5$ mm → $u_1 = \frac{U_1}{\sqrt{3}} = 0{,}289\ mm$
- estimation abscisse fente : $U_2 = 2$ mm → $u_2 = \frac{U_2}{\sqrt{3}} = 1{,}15\ mm$
- estimation abscisse CCD : $U_3 = 5$ mm → $u_3 = \frac{U_3}{\sqrt{3}} = 2{,}89\ mm$

Relation de composition des incertitudes : $u_D = \sqrt{2(u_1)^2 + (u_2)^2 + (u_3)^2} = 3{,}1\ mm$

1.2.3 – Exprimer le résultat muni de son incertitude type.

$$D = 50{,}00 \pm 0{,}31\ cm$$

Où de qui suit ± est l'incertitude type.

1.3 – Mesure de *i* et de son incertitude type

1.3.1 - Mesurer *i* à l'aide du logiciel CALIENS© (voir annexe 2) en indiquant votre méthode.

Nombre d'interfranges mesurés : *N = 5 ; Ni = 6,05 mm* → *i = 1,21 mm*

1.3.2 - Quelles sont les sources d'incertitudes sur la mesure précédente ? Evaluer ces incertitudes pour éventuellement négliger celle(s) qui le peu(ven)t.

Les sources d'incertitudes sur les mesures de chaque abscisse menant à la détermination de *Ni* sont :

- repérage d'un extremum d'intensité : $U_1 = 20\ \mu m$ → $u_1 = \frac{U_1}{\sqrt{3}} = 11{,}5\ \mu m$
- ½ pas du curseur : $U_2 = 10\ \mu m$ → $u_2 = \frac{U_2}{\sqrt{3}} = 5{,}77\ \mu m$
- taille du pixel *14 µm* : $U_3 = 7\ \mu m$ → $u_3 = \frac{U_3}{\sqrt{3}} = 4{,}04\ \mu m$

Ces trois sources d'incertitudes sont du même ordre, donc on n'en néglige aucune. Elles s'appliquent à chacun des **deux curseurs**.

$$u_{Ni} = \sqrt{2((u_1)^2 + (u_2)^2 + (u_3)^2)} = 19\ \mu m$$

Calculer alors l'incertitude type sur *i*.

$$u_i = \frac{u_{Ni}}{N} = 3{,}8\ \mu m$$

1.4 – Détermination de *a* et de son incertitude type

1.4.1 - La longueur d'onde utilisée est $\lambda_0 = 632{,}8\ nm$. Quelle est conventionnellement l'incertitude type implicite sur cette longueur d'onde $u(\lambda)$ puis son incertitude type relative $\frac{u(\lambda)}{\lambda}$.

Incertitude sur λ_0 : ½ unité du dernier chiffre significatif : $U_\lambda = 0{,}05$ nm

Incertitude type : $u_\lambda = \frac{U_\lambda}{\sqrt{3}} = 0{,}029\ nm$

1.4.2 - Déduire de ce qui précède la valeur de *a* et son incertitude type *u(a)* en ne gardant que les sources d'incertitudes prépondérantes.

$$a = \frac{\lambda_0 D}{i} = 261{,}49\ \mu m$$

$$u_a = a\sqrt{\left(\frac{u_\lambda}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{u_i}{i}\right)^2 + \left(\frac{u_D}{D}\right)^2}$$

Or $\frac{u_\lambda}{\lambda} = 4{,}6.10^{-5}$; $\frac{u_i}{i} = 3{,}8.10^{-3}$; $\frac{u_D}{D} = 6{,}2.10^{-3}$

On peut donc négliger l'incertitude relative sur λ

$$u_a = a\sqrt{\left(\frac{u_i}{i}\right)^2 + \left(\frac{u_D}{D}\right)^2} = 1{,}90\ \mu m$$

1.4.3 – Ecrire le résultat muni de son incertitude type.

$$a = 261{,}5 \pm 1{,}9\ \mu m$$

Où de qui suit ± est l'incertitude type.

2 – Mesure par régression linéaire

Afin de diminuer l'incertitude, mesurer *D* et *i* pour 4 **autres valeurs** différentes de *D* en utilisant strictement la même méthode que précédemment.

On utilisera le logiciel *Regressi* pour mettre en forme et exploiter les mesures.

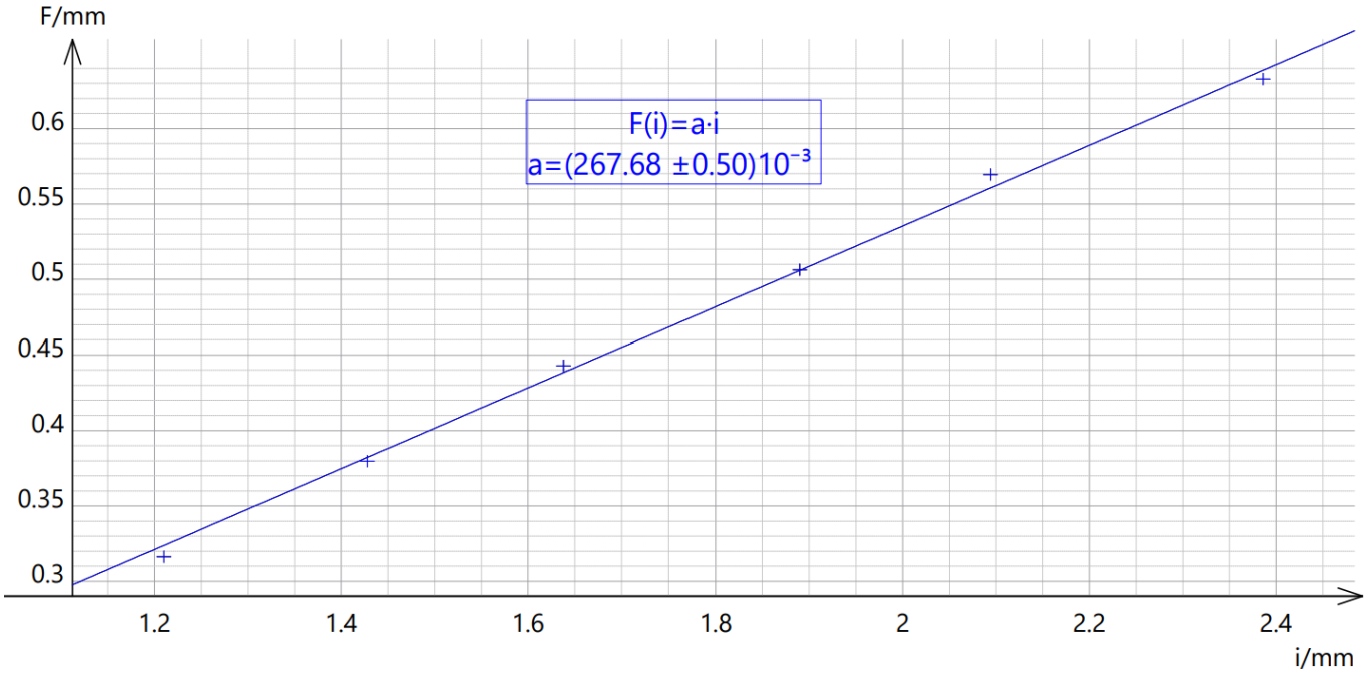
a) Quelle fonction *F(D)* est linéaire en *i* et de pente *a* ?

$\lambda D = f(i)$ est une fonction linéaire de *i* de coefficient directeur *a*

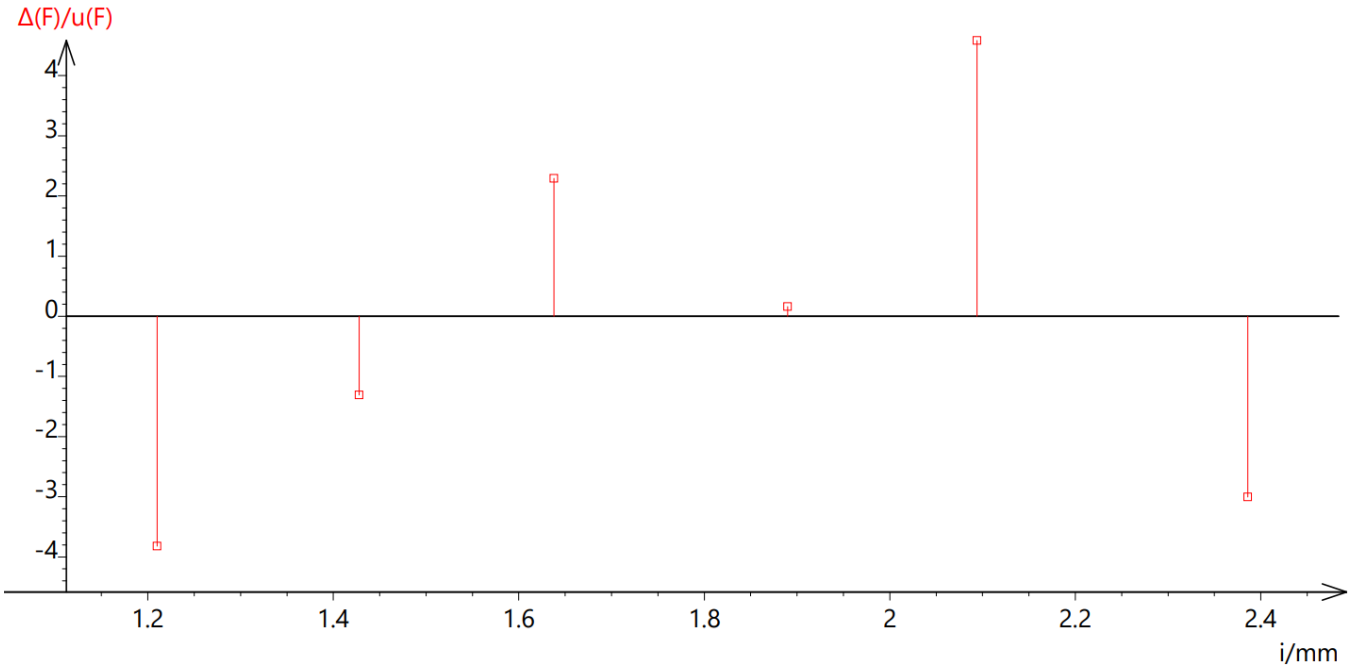
- Onglet *Grandeurs*, définir la fonction *F(D)* qui sera une loi linéaire de *i* de pente *a*.
- Tracer le graphe de *F* en fonction de *i*.

➢ Effectuer une régression linéaire dont on relèvera ci-après la pente et son incertitude.

Ajustement linéaire



Résidus normalisés



b) Appliquer cette procédure afin d'en extraire a et son incertitude type u_a.

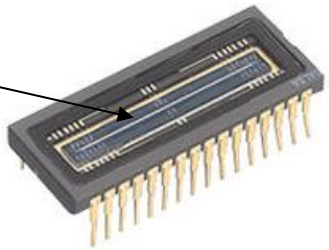
$$a = 267{,}68 \pm 0{,}50\ \mu m$$

Z-score : $Z = \frac{|a_1 - a_2|}{\sqrt{u(a_1)^2 + u(a_2)^2}} = 3 > 2$

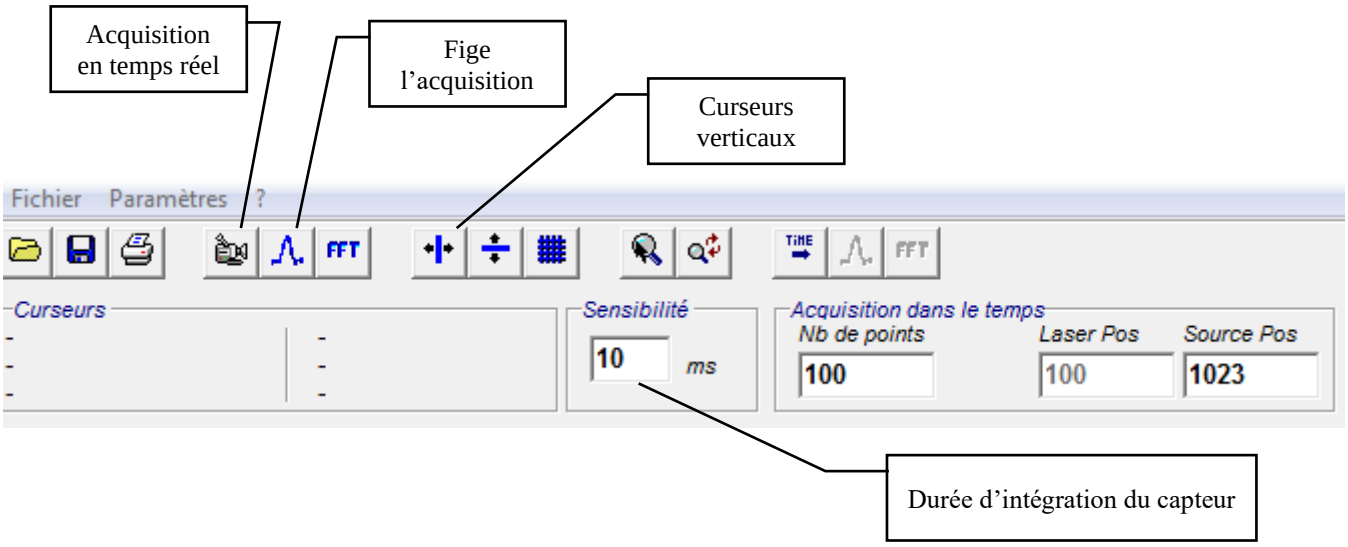
On remarque que les deux valeurs de a obtenues (par une mesure unique, par un ajustement linéaire) semblent incompatibles. On peut y voir une sous-estimation des incertitudes, notamment dans le 1er protocole.

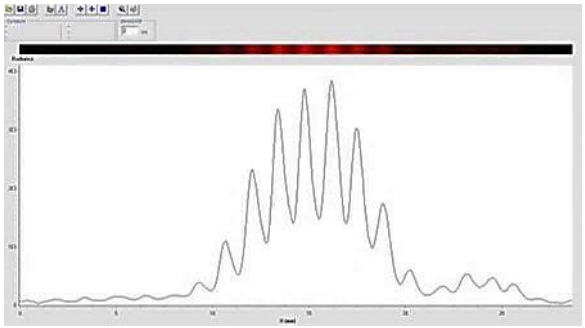
ANNEXE 1 : *Caractéristiques techniques de la barrette CCD*

Matrice linéaire de *2048 pixels*
Taille d'un pixel : *14 µm*
Longueur utile du capteur : *2,87 cm*



ANNEXE 2 : *Utilisation du logiciel CALIENS*



1) Vérifier le bon alignement du montage afin que les franges se forment au centre de l'ouverture circulaire du capteur. Pour contrôler cet alignement, on pourra écarter le capteur de l'extrémité du tube PVC.

2) Afin de visualiser un signal optimal permettant une exploitation précise, ajuster la sensibilité du capteur (icône ci-dessus) et l'atténuation du faisceau en tournant les jetons polariseurs vissés sur l'objectif du capteur.